



СОВРЕМЕННЫЕ ИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ СИЛОВЫХ КАБЕЛЕЙ: ПРЕИМУЩЕСТВА И ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Даны сравнительные характеристики, отмечены недостатки и преимущества использования силовых кабелей с различной изоляцией — бумажно-пропитанной изоляции, поливинилхлоридным пластиком, изоляционной резиной, а также сшитым полиэтиленом и его модификациями. Описаны технологии изготовления, эксплуатационные свойства и пути совершенствования современного сшитого-полиэтиленового изоляционного материала. Показана перспективность его использования в целях достижения высокой надежности и долгосрочной службы силовых кабелей при любых способах прокладки и условиях эксплуатации.

Силовые кабели на среднее (6–35 кВ) и высокое (110 кВ и выше) напряжение широко используются для передачи и распределения электроэнергии, в частности, в больших городах, на промышленных предприятиях, энергетических, стратегических объектах, например, в системах энергоснабжения, на транспорте (включая метрополитен), угольных шахтах,

для соединения электрооборудования на мощных гидроэлектростанциях.

В настоящее время большое распространение получают кабели с новой твердой изоляцией — изоляцией из сшитого полиэтилена на сверх-высокое напряжение (220 кВ и выше, вплоть до 500 кВ). К электрическим кабельным сетям нового поколения эксплуатирующими организациями

Таблица 1. Характеризация кабелей с различной изоляцией

| Наименование силовых кабелей | Достоинства | Недостатки |
|---|--|---|
| Маслонаполненные кабели низкого давления (напряжение до 420 кВ) | Относительно невысокая стоимость. | Низкая экологическая безопасность. Пожароопасность. Сложность монтажа и ремонта. Большие расходы на эксплуатацию |
| Маслонаполненные кабели высокого давления (напряжение до 1000 кВ) | Высокая надежность. Низкая повреждаемость. | Низкая экологическая безопасность. Пожароопасность. Сложность монтажа, обслуживания, ремонта. Очень большие расходы на эксплуатацию |
| Кабели с бумажно-пропитанной изоляцией | Многолетний положительный опыт эксплуатации. Хорошие и стабильные электрические характеристики. Высокая стойкость к коммутационным перенапряжениям. Достаточно низкая цена. | Сложный и малопроизводительный процесс изготовления. Необходимость металлической оболочки из-за невлагодостойкости пропитанной бумаги. Достаточно тяжелая конструкция. Ограничения при вертикальных и крутонаклонных прокладках из-за стекания пропиточного состава |
| Кабели с резиновой изоляцией | Материал изоляции гибок, технологичен/ Отличается невысокой стоимостью. | Требуются специальные защитные покрытия из-за недостаточной механической прочности и влагодостойкости изоляционных резин. |
| Кабели с изоляцией из ПВХ пластика | Гибкость изоляции. Негорючесть. Химическая стойкость. Возможность прокладки на трассах с неограниченной разностью уровней. Низкая цена. | Пониженные диэлектрические характеристики. Чувствительность к влаге. Выделение токсичных и коррозионных веществ при нагреве |
| Кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена (напряжение до 550 кВ) | Высокие эксплуатационные характеристики (электроизоляционные свойства, нагревостойкость, влагодостойкость, механическая прочность, инертность по отношению к большинству агрессивных сред). Эксплуатационная надежность. Экологическая безопасность. Простота монтажа и ремонта. Малые расходы на эксплуатацию. Наличие отечественного производства кабелей на напряжения до 330 кВ на заводе "Южкабель" (г. Харьков). | Деструкция сшитого полиэтилена вследствие образования и роста трингов. Достаточно высокая стоимость кабеля и арматуры |



Таблица 2. Сравнительные характеристики маслонаполненных кабелей (МНК) и кабелей с СПЭ-изоляцией

| Наименование показателей | Значение показателей | | |
|---|----------------------|-----------------------|------------|
| | МНК низкого давления | МНК высокого давления | СПЭ-кабели |
| Электрическая прочность изоляции, кВ/мм | 8 – 9,5 | | 9 – 14 |
| Допустимая плотность односекундного тока к.з., А/мм ² : | | | |
| | – для медной жилы | 101 | 143 |
| – для алюминиевой жилы | 67 | 93 | |
| Диэлектрическая проницаемость изоляции при максимально допустимой температуре | 3,7 | | 2,3 |
| Коэффициент диэлектрических потерь tg δ | 0,003 – 0,007 | | 0,001 |
| Минимальная температура эксплуатации, °С | 0 | | –50 |
| Термическое сопротивление, К·м/Вт | 5,5 | | 3,5 |
| Длительно допустимая температура жилы, °С | 75 | 85 | 90 |
| Допустимая температура жилы при к.з., °С | 160 | 200 | 250 |

предъявляются повышенные технические требования, в числе которых высокая надежность электроснабжения потребителей энергии; эффективность функционирования; адаптация к все более возрастающим электрическим нагрузкам; электрическая, экологическая и технологическая безопасность; долговечность; низкие затраты на монтаж, реконструкцию и содержание кабелей. Многолетний опыт эксплуатации в промышленно развитых странах мира кабелей с теплостойкой экструдированной изоляцией — изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ) — убедительно показал, что именно такие кабели наиболее полно удовлетворяют перечисленным требованиям.

Начиная с 90-х годов прошлого века, в Украине и других странах бывшего Советского Союза отмечается рост интереса к силовым кабелям с СПЭ-изоляцией и наблюдается тенденция к замене ими достаточно устаревших маслонаполненных кабелей (МНК) и кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией (БПИ).

Первые маслонаполненные кабели на напряжение 110 кВ были установлены в бывшем СССР в 1938 году, на 220 кВ — в 1957 г, на 380 кВ и 500 кВ — в 1965 г. В течение длительного срока службы эти кабели практически исчерпали свой эксплуатационный ресурс, морально устарели, их технические характеристики в настоящее время не соответствуют современным требованиям надежности и безопасности электроснабжения, экологичности и экономичности (Табл. 1 и 2).

В дополнение к данным Табл. 2 отметим, что маслонаполненные кабели делятся на кабели низкого (0,15 — 0,6 МПа) и высокого (1,2 — 1,6 МПа) давления. Первые из них используются на напряжение до 110 кВ, вторые — 110 кВ и выше.

Основные недостатки маслонаполненных электрических кабелей по сравнению с кабелями с СПЭ-изоляцией заключаются в следующем:

- сложность конструкции;
- высокие расходы на эксплуатацию, особенно для маслонаполненных кабелей высокого давления, для которых требуется сложная система контроля масла, специально обученный обслуживающий персонал;
- вредное воздействие на окружающую среду вытекающего из кабелей масла при повреждении оболочки;
- необходимость аппаратуры для перекачки и охлаждения масла;
- высокие трудозатраты при монтаже с необходимостью заморозки масла жидким азотом и строительством колодцев;
- низкая пожаробезопасность;
- ограниченные уровни прокладки.

В силу распространенности маслонаполненных кабелей на высокое и сверхвысокое напряжения предусмотрена возможность вставок с помощью специальных соединительных муфт СПЭ-кабелей в маслонаполненные при проведении ремонтных работ, а также при прокладке новых участков кабельных линий.

Отметим, что в настоящее время европейскими производителями еще выпускаются усовершенствованные маслонаполненные кабели на напряжение до 1000 кВ с поперечным сечением токоведущей части до 2500 мм². Однако производство маслонаполненных кабелей постепенно сворачивается, уступая место кабелям с полиэтиленовой изоляцией.

В большинстве стран СНГ кабельные сети среднего напряжения 6 — 10 кВ более чем на 90% состоят из кабелей с бумажно-пропитанной изоляцией. Основные характеристики и технические показатели таких кабелей представлены в Табл. 1, 3 и 4. Изоляция БПИ-кабелей выполняется в виде многослойной кабельной бумаги, пропитанной



Таблиця 3. Сравнительные характеристики изоляционных материалов кабелей

| Наименование показателей | Значения показателей материалов изоляции | | |
|--|--|------------------|------------------|
| | СПЭ | БПИ | ПВХ |
| Длительно допустимая рабочая температура, °С | 90 | 70–80 | 70 |
| Допустимая температура при работе в аварийном режиме (6 часов), °С | 130 | 100 | 80 |
| Предельно допустимая температура жил при к.з., °С | 250 | 200 | 160 |
| Допустимые токовые нагрузки в зависимости от сечения жилы, % | 120–125 | 105–110 | 100 |
| Относительная диэлектрическая проницаемость при 20°С | 2,3 | 4,0 | 4,5 |
| Тангенс диэлектрических потерь при 20°С | 0,001 | 0,008 | 0,01 |
| Удельное объемное сопротивление при 20°С, Ом·см | 10 ¹⁶ | 10 ¹³ | 10 ¹³ |
| Минимально допустимая температура прокладки без предварительного подогрева, °С | –(15...20) | 0 | –15 |
| Минимальный радиус изгиба (D – наружный диаметр кабеля), мм | 7,5*D | (15...25)*D | (7,5–10)*D |
| Разница уровней на трассе прокладки, м | не ограничено | 15 | не ограничено |
| Сопротивление к деформации при 150°С | хорошее | хорошее | плохое |

специальным минеральным или синтетическим маслом либо маслоканифольным составом. Пропиточные кабельные масла применяются для повышения электрической прочности изоляции и улучшения теплоотвода.

Необходимость перехода от БПИ к СПЭ-изоляции связана прежде всего с возрастающими требованиями к техническим параметрам и эксплуатационным характеристикам кабелей. В этом отношении перечисленные ниже преимущества СПЭ-кабелей по сравнению с БПИ-кабелями неоспоримы (см. Табл. 3):

- высокая надежность в эксплуатации и низкая повреждаемость (процент электрических пробоев СПЭ-кабелей на 2–3 порядка меньше, чем БПИ-кабелей; в целом повреждаемость СПЭ-кабелей на 1–2 порядка ниже, чем БПИ-кабелей, в частности, удельная повреждаемость кабельных линий на 6 – 10 кВ для БПИ-кабелей в свинцовой оболочке составляет 4,3 – 5,0 случаев на 100 км в год);

- большая пропускная способность за счет увеличения рабочей температуры жил до 90°С

вместо 70 – 80°С (допустимые токи нагрузки в зависимости от условий прокладки на 15 – 30% больше, чем у БПИ-кабелей);

- в восемь раз и более низкие диэлектрические потери;

- более высокий ток термической стойкости при коротком замыкании (КЗ);

- меньшие вес, диаметр и радиус изгиба СПЭ-кабеля облегчает прокладку на сложных трассах;

- возможность прокладки при температуре до –20 °С без предварительного подогрева, благодаря использованию полимерных материалов для изоляции и оболочки кабелей;

- отсутствие жидких компонентов, вследствие чего уменьшается время, снижается стоимость прокладки кабеля большой мощности, улучшается экологичность;

- стойкость к воздействию агрессивных сред;

- низкое водопоглощение (нет необходимости использовать металлическую оболочку как в случае БПИ-кабелей);

Таблиця 4. Теплофизические характеристики изоляционных материалов

| Наименование характеристик | Значения характеристик изоляционного материала | | | |
|--|--|---------------|-------------|---------------------|
| | БПИ | ПВХ пластикат | СПЭ | Изоляционная резина |
| Удельное тепловое сопротивление, °С·м/Вт | 6,0 – 7,0 | 5,0 – 6,0 | 3,0 – 3,7 | 3,0 – 5,0 |
| Удельная объемная теплоемкость, кДж/м ³ ·°С | 1715 | 1662 | 2185 – 3562 | 1890 |
| Плотность, кг/м ³ | 1252 | 1350 | 920 | 1400 |
| Максимально допустимая рабочая температура, °С | 80 | 70 | 90 | 70 |
| Максимально допустимая температура при к.з., °С | 200 | 160 | 250 | 250 |



Таблиця 5. Время начала использования некоторых изоляционных материалов
(в скобках приведены международные обозначения полимеров)

| Наименование изоляционного материала | Год начала использования |
|--|--------------------------|
| Поливинилхлоридный пластикат | 1928 |
| Полипропилен | 1955 |
| Бакелит-полиэтилен | 1960 |
| Этиленпропиленовая резина | 1962 |
| Сшитый полиэтилен (XLPE) | 1965 |
| Высокомолекулярный полиэтилен (HMWPE) | 1979 |
| Триингостойкий сшитый полиэтилен (TR-XLPE) | 1982 |
| Сополимерная изоляция | 1983 |
| Высокомолекулярный линейный полиэтилен низкой плотности (TR-HMW-LLDPE) | 1984 |
| Сшитый полиэтилен для высоких напряжений | 1992 |
| Гомополимерные изоляционные материалы | 1999 |

- твердая изоляция дает преимущества при прокладке на трассах с большой разностью уровней, в вертикальных и наклонных коллекторах;

- более технологичный монтаж и экологически чистая эксплуатация (отсутствие свинца, масла, битума упрощает монтаж, устраняет экологически неблагоприятные факторы);

- большие строительные длины (до 2000 — 4000 м) однофазного кабеля с СПЭ-изоляцией;

- меньшие расходы на монтаж, реконструкцию и эксплуатацию СПЭ-кабелей.

Отметим, что в настоящее время кабели с бумажно-пропитанной изоляцией все еще выпускаются в некоторых странах — в Великобритании, Австрии, Китае, России, Украине. К причинам сохранения производства БПИ-кабелей можно отнести консерватизм потребителей и сравнительно невысокую стоимость. В странах СНГ, в том числе в Украине, где кабели с бумажной изоляцией являются базовыми в электроэнергетике, силовые БПИ-кабели выпускаются в свинцовых и алюминиевых оболочках, бумажная изоляция пропитывается специальным нерасплаивающимся составом или нестекающей синтетической маслой, в их конструкции используются усовершенствованные защитные покрытия. Предназначены такие кабели в основном для подземных распределительных сетей напряжением 6 — 10 кВ. Однако в соответствии с требованиями ведущих энергосистем, объемы спроса, как и объемы производства БПИ-кабелей постепенно снижаются. Учитывая тенденции развития мирового кабельного рынка и традиционность использования в ряде стран бумажно-пропитанных кабелей, разработаны специальные муфты для соединения БПИ-кабелей с кабелями, имеющими СПЭ-изо-

ляцию, что важно не только для сооружения новых участков кабельных линий, но и для ремонта и реконструкции существующих линий.

До 60-х годов прошлого века широко используемыми изоляционными материалами были также резина и поливинилхлорид (ПВХ). Производство последнего известно с 1928 года (см. Табл. 5).

Основные характеристики кабелей с резиновой и ПВХ-изоляцией в сравнении с другими типами изоляции представлены в Табл. 1, 3 и 4.

ПВХ-пластикат является полярным полимером, имеет пониженные диэлектрические свойства по сравнению со сшитым полиэтиленом и пропитанной бумагой (см. Табл. 3), что приводит к увеличению потерь в изоляции. Поскольку допустимая рабочая температура ПВХ-кабелей достаточно низкая (70°C), кабели с изоляцией из этого материала характеризуются допустимой токовой нагрузкой на 20% ниже, чем СПЭ-кабели. В тоже время ПВХ-пластикат — материал, который не распространяет горение. Это свойство используется при изготовлении пожаробезопасных кабелей специального назначения [8].

СПЭ-кабели в сравнении с кабелями, имеющими поливинилхлоридную изоляцию, позволяют: использовать токопроводящие жилы меньшего сечения для передачи одинаковой мощности; увеличить длительно допустимую температуру нагрева жил кабелей до 90°C, а температуру жил при коротком замыкании — до 250°C.

Применение этиленпропиленовой резины — синтетического полимера в качестве кабельной изоляции предшествовало внедрению СПЭ-изоляции (см. Табл. 5). Такая резина и в настоящее время представляет собой достаточно распространенный изоляционный материал в силу хороших диэлектрических свойств и химической устойчивости. К примеру, в 1984 г. на мировом кабельном рынке было представлено до 10 % кабелей с изоляцией из этиленпропиленовой резины, а в 1995 году — близко 20% таких кабелей.

Кабели с СПЭ-изоляцией впервые были использованы в Японии в 1965 г., где на сегодняшний день все электросети среднего напряжения и большая часть высоковольтных сетей выполнены СПЭ-кабелями. Отметим, что полиэтилен обладает прочностью, стойкостью к воздействию хи-

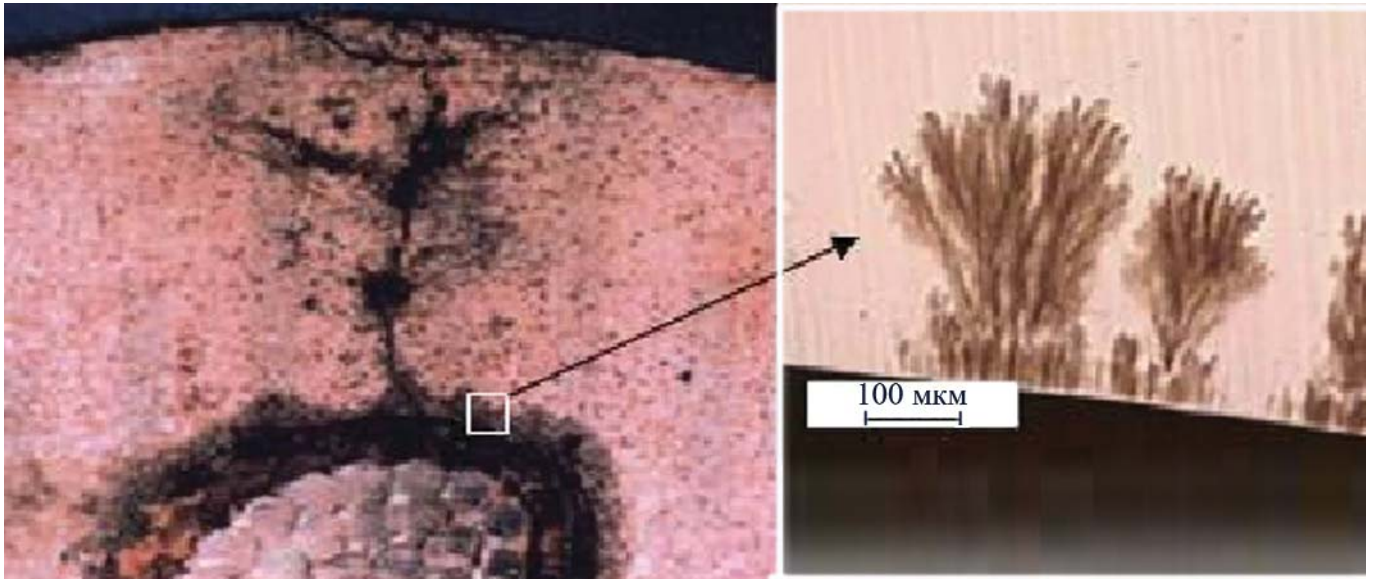


Рис 1.

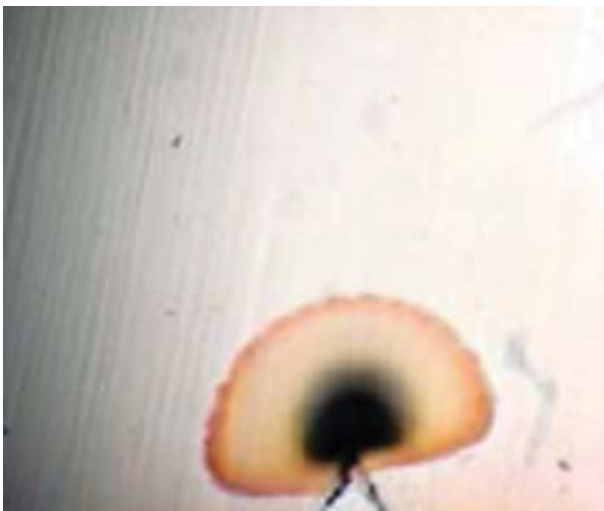


Рис 2.

мических веществ и влаги, пластичностью при низких температурах, имеет отличные электроизоляционные свойства, прост в обработке, и вследствие этого, подходит для применения в качестве изоляции электрических кабелей, рассчитанных на низкое, высокое и сверхвысокое напряжения.

В настоящее время во многих европейских странах и странах американского континента почти полностью используются кабели с изоляцией из сшитого полиэтилена и его модификаций, представлены в Табл. 5.

Сшитый полиэтилен (российское обозначение – СПЭ, английское – XLPE, cross-linked polyethylene) производится химическим способом в процессе применения современной технологии вулканизации (поперечной сшивки) высококачественного полиэтиленового материала. Путем химической реакции достигается изменение молекулярной структуры и обеспечиваются высокие

электрические, температурные и механические характеристики изоляции. Важным для высокого качества кабелей является достижение в процессе производства высокой степени однородности и сшивки изоляционного и электропроводящих слоев конструкции, а также точное соблюдение размерных параметров.

Мировая кабельная промышленность при производстве кабелей использует две альтернативные технологии сшивки полиэтилена:

- пероксидный способ в сухой среде (технология газовой вулканизации);
- силаносшиваемая технология в нескольких вариантах (по методу Sioplas, Dry Silane, Monosil, Visico процесс).

Для изготовления изоляции кабелей низкого и среднего напряжений используется силановая сшивка во влажной среде (пар, вода) при относительно низкой температуре – до 80–90 °С. В полиэтилен добавляются специальные органофункциональные группы – силаны. Под действием влаги происходит гидролиз силанов и их последующее сшивание, которое может быть ускорено путем использования высоких температур и катализаторов.

При производстве кабелей среднего (10 – 35 кВ) и высокого (110 кВ и выше) напряжений с большей толщиной изоляции для получения равномерности физико-механических свойств в радиальном направлении изоляции применяется технология сшивания при помощи пероксидов. Пероксидная сшивка проводится в среде нейтрального газа (азота) при высоких температуре (до 450°С) и давлении (в среднем 8 – 14 атм,



вплоть до 20 атм). Пероксидносшиваемая технология позволяет получить высокую стабильность электрических характеристик кабелей, большую однородность структуры и степень сшивки полиэтилена по сравнению с силеносшиваемой технологией. "Сухой" процесс пероксидной сшивки впервые в Украине внедрен на заводе "Южкбель" и позволяет производить кабели с полиэтиленовой изоляцией на напряжения от 6 до 420 кВ [15].

В 70-х годах прошлого века широко выпускались кабели из термопластичного и сшитого полиэтилена — первого поколения СПЭ-кабелей, имевших расчетный срок службы 20 лет.

При детальном изучении факторов, определяющих эксплуатационную надежность кабелей, в частности при изучении температурных режимов их функционирования, ресурса полиэтиленовой изоляции, а также при диагностике ее технического состояния были обнаружены причины уменьшения электрической прочности и предрасположенности СПЭ-кабелей к преждевременному выходу из строя под действием протекающих частичных разрядов и вследствие образования триингов.

Триингообразования в сшитом полиэтилене кабелей показаны на Рис. 1. Они определяют основной фактор разрушения полиэтилена и возникают из-за наличия технологических дефектов в изоляционном материале и в процессе эксплуатации кабелей.

В связи с этим были проведены работы по созданию новых материалов, способных снизить скорость роста триингов в изоляции и тем самым продлить срок службы кабелей. Это привело к созданию в 80-е годы прошлого века второго поколения СПЭ кабелей — кабелей с изоляцией из триингостойкого полиэтилена (ТСПЭ, международное сокращение — TR-XLPE, tree-resistant XLPE), для которых определялся нормативный срок службы не менее 30 лет.

Триингостойкий полимерный изоляционный материал получается путем введения специальных химических добавок в полиэтилен, что приводит к снижению негативного влияния влаги на свойства изоляции и минимизации эффекта триингообразования. Характер распространения триингов в ТСПЭ показан на Рис. 2 [7]. Такой материал получил наибольшее распространение при изготовлении кабелей в США и Японии.

Дальнейшее совершенствование полиэтиленового изоляционного материала привело к со-

зданию сополимерного сшитого полиэтилена (ССПЭ), который получается модификацией полимерной матрицы путем добавления в нее смеси сополимеров этилена с акрилатами (этилакрилата или бутилакрилата) и антиоксиданта, снижающего скорость окислительных процессов. Такой подход нашел применение в кабельном производстве в Германии, Италии, Бельгии, Нидерландах и др. странах. Использование сополимерного СПЭ в силовых кабелях, начиная с 1983 г., привело к снижению уровня отказов кабелей в 2000-х гг. до 0,2 — 2,0 отказа на 100 км кабеля в год.

В 90-х годах прошлого века совершенствование кабельных материалов и конструкций продолжалось, в результате чего было создано третье поколение СПЭ-кабелей с нормативным сроком службы 40 — 50 лет. Разработчики считают, что кабели, произведенные в конце 90-х годов, будут служить в 1,8—2,8 раза дольше, чем кабели, изготовленные из СПЭ до и в начале 90-х годов.

Отметим, что в настоящее время производителями электрических кабелей выпускаются кабели с изоляцией из СПЭ и его модификаций на напряжение до 500 кВ с поперечным сечением токопроводящей жилы до 3000 мм². Полиэтиленовые материалы с высокой стойкостью к триингообразованию (ТСПЭ) в основном используются в Северной Америке и Японии, тогда как европейский рынок все больше предлагает электрические кабели с гомополимерным и сополимерным сшитым полиэтиленом. На сегодняшний день в мире наиболее надежной триингостойкой изоляцией для силовых кабелей на напряжения от 6 до 500 кВ считается изоляция из пероксидносшиваемого полиэтилена.

Таким образом, сшитый полиэтилен является перспективным материалом для использования в качестве изоляции кабелей энергетического назначения. Современная изоляция на базе созданных модификаций сшитого полиэтилена отвечает высоким техническим требованиям и обеспечивает необходимые эксплуатационные характеристики, в числе которых надежность и длительный срок службы кабелей при любых способах прокладки и в самых жестких условиях функционирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Кабели 220—500 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена.* — Выпуск ABB BU Cables 1— 2004. — 50 с.
2. *Кабельные системы высокого напряжения 110—500 кВ.*



— Каталог фирмы Nexans. — 54 с.

3. Карпушенко В.П., Щербенюк Л.А., Антоненко Ю.А., Науменко А.А. Силові кабелі низької та середньої напруги. Конструювання технологія, якість. — Харків: Регіон-інформ, 2000. — 376 с.

4. Кожевников А. Современная кабельная изоляция // Новости электротехники. — 2006. — № 2 (38).

5. Ларина Э.Т. Силовые кабели и кабельные линии. — М.: Энергоатомиздат, 1984. — 368 с.

6. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 кВ и 110–1150 кВ. /Под ред. И.Т. Горюнова, А.А. Любимова. — Том 3. — М.: Папирус-Про, 2004. — 688 с; Том 4. — М.: Папирус-Про, 2005. — 640 с.

7. Мендельсон А., Аартс М.У. Мировой опыт применения изоляции из триингстойкого сшитого полиэтилена // Кабели и провода. — 2005. — № 5 (294). — С. 23 — 29.

8. Подольцев А.Д., Кучерявая И.Н., Карпушенко В.П. Новое поколение пожаробезопасных кабелей для атомных электростанций. // Проблемы безпеки атомних електростанцій і Чорнобиля. — Вип. 8. — 2007. — С. 51–60.

9. Руководство по выбору, прокладке, монтажу и эксплуатации кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена на напря-

жении 220 кВ и 330 кВ. — Харьков: Майдан, 2011. — 42 с.

10. Силовые кабели с бумажно-пропитанной и пластмассовой изоляцией. — ЗАО "Южкabelь", г. Харьков, Украина. — Каталог. — 40 с.

11. Силовые кабели среднего и высокого напряжения с изоляцией из сшитого полиэтилена. — ЗАО "Южкabelь", Харьков, Украина. — Каталог, выпуск № 5. — 43 с.

12. Силовые кабели и кабельные системы 10–220 кВ. Современные решения в области силовых кабелей. — Каталог фирмы АВВ. — 30 с.

13. Современные решения в области силовых кабелей. — Каталог фирмы АВВ. — 20 с.

14. Справочник по проектированию электрических сетей. / Под ред. Д.Л. Файбисовича. — М.: ЭНАС, 2007. — 352 с.

15. Щерба А.А., Гурин А.Г., Ольшевский А.М., Карпушенко В.П., Науменко А.А. Новая технология пероксидной сшивки полиэтиленовой изоляции — основа производства высоконадежных силовых кабелей на напряжение 6–500 кВ. // Электропанорама. — 2012. — № 4. — с. 16–21.

16. <http://ruscable.ru/doc/analytic/>

© Кучерявая И.Н., 2012

